

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai zat kimia klorin yang digunakan pada beberapa industri atau di pembangkitan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap menurut penjelasan dari beberapa peneliti sebagai berikut ini, dijadikan sebagai acuan (referensi) dalam pengembangan pembahasan pada tugas akhir ini.

(**Nugroho, Muharmansyah Adi 2010**) melakukan penelitian tentang Electrochlorination. Electrichlorination adalah suatu metode produksi senyawa chlorine yaitu NaOCl (sodium hypochlorite) dengan cara elektrolisis pada air laut. Pada instalasi pembangkit listrik thermal maupun nuklir yang memerlukan air laut untuk pendingin *condenser*, zat NaOCl berfungsi untuk melumpuhkan (disinfektan) mikroorganisme laut agar tidak bersarang dan merusak (biofouling) pada instalasi-instalasi yang menggunakan air laut. Karena air laut mengandung berbagai mikroorganisme, bakteri, protozoa, yang akan memberikan kontribusi untuk pembentukan biofouling pada permukaan benda. Tujuan jangka panjang penggunaan sodium hypochlorite adalah menekan biaya perawatan, mempertahankan biaya operasional dan memperpanjang usia peralatan.

(**Hasan, Achmad (2006)**) Untuk pemanfaatannya, klorin digunakan dalam berbagai bidang yakni :

1. Dalam bidang kesehatan

Klorin digunakan sebagai disinfektan pada pengolahan air minum. Klorin yang digunakan adalah gas klor (Cl_2) atau kalsium hipoklorit [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$]. Selain itu, klorin juga digunakan sebagai bahan obat-obatan yang dikombinasikan dengan senyawa lain.

2. Dalam industri tekstil, pulp dan kertas

Klorin digunakan sebagai pemutih dan penghalus serta menguatkan permukaan kertas.

3. Bidang Pertanian

Pestisida dari kelompok organoklorin merupakan pestisida yang mengandung klorin yaitu dikloro difenil trikloroetana (DDT), metoksklor, aldrin dan dieldrin. Dikloro difenil trikloroetana (DDT) merupakan pestisida yang pertama kali dihasilkan.

4. Industri kimia dan industri lainnya

Klorin digunakan pada produk yang berbahan dasar plastik seperti poly vinyl chloride (PVC), pelarut (solvent), dry cleaning dan berbagai produk lain yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari seperti lem, semen dan pembungkus.

5. Bidang Pembangkit Listrik

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), klorin digunakan pada sistem pendingin (cooling system) yang berfungsi sebagai pengontrol biological fouling. Untuk PLTU yang menggunakan air sungai maupun air tanah sebagai pendingin, biasanya dilengkapi dengan unit klorinasi (chlorination plant). Fungsi penggunaan klorin yaitu untuk mencegah tumbuhnya yang menjadi nutrisi tritip pada dinding pipa kondensor, akibatnya mengurangi efisiensi kondensor tersebut.

(**Adi Utama Ginting, Emir Nasrullah, Noer Sudjarwanto (2013)**), pada penelitiannya menjelaskan bahwa :

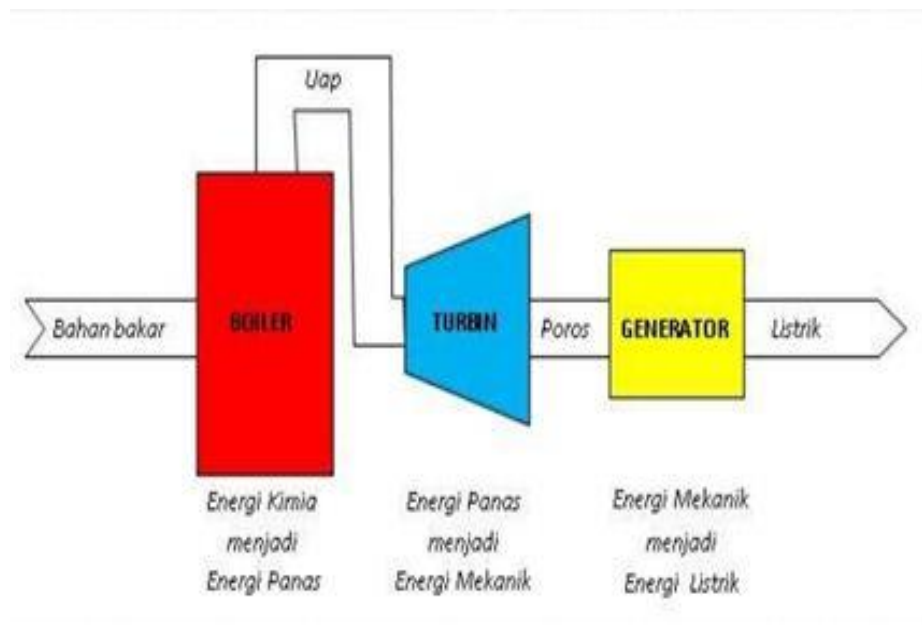
Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Di dalam proses produksinya, terdapat sistem pendingin yang digunakan untuk efisiensi kerja, yaitu sirkulasi (daur ulang uap), dan pendingin pada motor dan pompa dengan menggunakan suhu alam air laut pada kenyataannya, air laut alam ini banyak mengandung biota-biota laut, termasuk ikan, udang, dan lumut, yang dalam jangka panjang dapat membahayakan proses pendinginan, karena di dalam radiator (tabung-tabung pendingin) akan tumbuh lumut,

dan juga ikan, yang dapat menyumbat sirkulasi air laut ini, sehingga diperlukan suatu sistem yang dapat menghindarkan biota-biota laut ini masuk ke dalam sistem sirkulasi air pendingin ini, yaitu dengan memberikan cairan klorin kadar tinggi pada jalur (*intake*) masukan air laut, yang dapat mengusir biota, dan mematikan lumut. oleh sebab itu diperlukan pembuatan Simulasi Sistem Klorinasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), tujuannya untuk menjaga efisiensi kerja sistem agar bekerja lebih baik.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah Generator dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu bara dan minyak bakar serta MFO untuk start up awal. PLTU adalah jenis pembangkit listrik tenaga termal yang banyak digunakan, karena efisiensinya baik dan bahan bakarnya mudah didapat sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. PLTU merupakan mesin konversi energi yang merubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Pada gambar 2.1 merupakan gambar proses konversi energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).



Gambar 2.1. Proses Konversi Energi PLTU

2.2.2 Proses Produksi PLTU Paiton

Ketel uap PLTU unit 1 dan unit 2 adalah tipe pembakaran sulut dengan bahan bakar solar sebagai penyulut dan pembakaran awal (untuk awal dan hanya sampai beban 30%). Selanjutnya menggunakan bahan bakar utama batu bara (hingga beban 100 %). Batu bara yang berasal dari kapal tongkang di *transfer* menuju *Conveyor* (ban berjalan) menggunakan *Ship Unloader* (alat untuk pengambilan batu bara dari tongkang) yang melalui proses penyaringan *Elektromagnetik Separator* (magnet untuk penyaringan batu bara terhadap logam) sebagian ditimbun di *stockpile* (tempat penimbunan batu bara) dan sebagian lagi langsung dikirim ke *tripper* yang kemudian diisikan ke silo (setiap unit terdiri dari lima silo). Semua proses ini dikontrol di CHCB (*Coal Handling Control Board*), kecuali *Ship Unloader*. Sebelum dimasukkan ke dalam ruang bakar ketel uap, batu bara digiling halus dengan alat penggiling *Mill / Pulverizer* (Alat untuk mengiling batu bara). Masing-masing ketel uap dilengkapi dengan

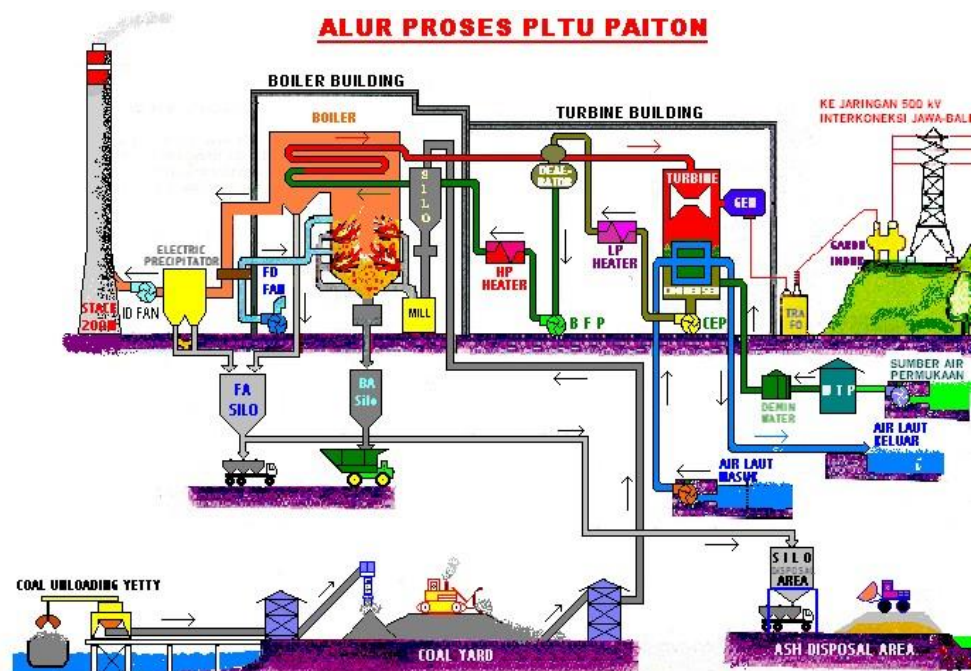
5 unit penggiling dan 4 unit yang beroperasi dan 1 unit sebagai cadangan.

Air pengisi ketel dan pemakaian sendiri (*service water*) lainnya diambil dari mata air Kelontong dan dimurnikan melalui beberapa proses seperti *Flitrasi* (kemampuan untuk menyaring), *Anion Exchanger* (menukar ion negatif dalam air), *Cation Exchanger* (menukar ion positif dalam air), *Mixed Bed Exchanger* (alat menukar resin / bahan kimia).

Air murni sebelum digunakan ditampung di tangki air atau *Demineralizer Tank* (DT). Air murni tersebut disalurkan melalui sistem air pengisi kedalam *Boiler* (ruang bakar) dan pemanasan air menjadi uap, uap yang dihasilkan adalah uap panas lanjut dengan tekanan 16 kg/cm^2 dan temperatur 538°C , yang akan digunakan untuk menggerakkan turbin uap dan Generator sehingga dihasilkan energi listrik. Uap panas lanjut tersebut setelah melalui turbin tekanan tinggi dikembalikan lagi kedalam ketel untuk dipanaskan kembali dan selanjutnya digunakan untuk memutar bagian tekanan menengah dan tekanan rendah dari turbin tersebut. Uap bekas dari turbin uap sebagian digunakan untuk memanaskan air pengisi ketel dan sisanya mengalir menuju alat pengembun (*Condenser*) dimana uap tersebut diembunkan dengan media pendingin air laut. Uap yang telah mengembun tersebut (*condensate*) dipompakan kembali untuk mengisi ketel uap.

Generator menghasilkan listrik pada putaran 3000 rpm sebesar 473 MVA, 50 Hz, 18 kV. Daya listrik tersebut dialirkan melalui Trafo Generator untuk menaikkan tegangan menjadi 500 KV sebelum masuk melalui sistem kelistrikan yang ada dan selanjutnya ditransmisikan ke pusat beban melalui transmisi 150 kV ke Gardu Induk Probolinggo dan Situbondo serta Gardu Induk Krian melalui transmisi 500 kV.

Abu batu bara yang dihasilkan dari hasil pembakaran dalam ketel dan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu Abu Terbang (*Fly Ash*) dan Abu Berat (*Bottom Ash*). Abu terbang yang keluar dari ketel uap bersama gas buang mengalir melalui alat penangkap abu terbang (*fly ash silo*) sedangkan abu berat dari ruang bakar ketel uap akan jatuh ke bawah dan di kumpulkan dengan alat pengumpul yang disebut *Submerged Scraper Conveyor* dan selanjutnya dengan ban berjalan dikumpulkan ke dalam alat penampung abu berat (*bottom ash silo*). Di bawah ini merupakan gambar alur proses produksi di PLTU Paiton.



Gambar 2.2. Alur Proses Produksi di PLTU UP Paiton

Selanjutnya abu terbang akan ditransportasikan ke daerah penimbunan abu (*ash disposal area*) melalui sistem pipa dengan hembusan udara bertekanan, sedangkan abu beratnya akan diangkut dengan truck. Abu terbang dan abu berat tersebut akan diratakan dan dipadatkan secara berlapis-lapis dan pada lapisan teratas ditanami rumput untuk menjaga keserasian hidup.

2.2.3 Bagian Utama PLTU

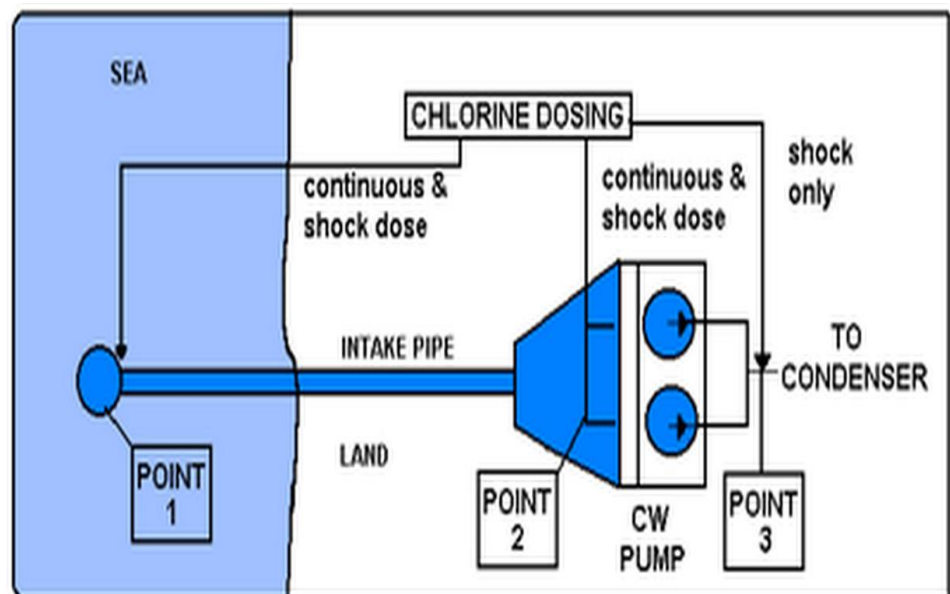
1. Boiler, berfungsi sebagai sarana transformasi energi termal dari proses pembakaran bahan bakar menjadi Energi Potensial Uap.
2. Turbin Uap (*Steam Turbine*), berfungsi untuk mengekspansi uap superheat hingga menghasilkan energi mekanis untuk menggerakkan generator.
3. Generator, berfungsi untuk menghasilkan energi listrik di mana di dalamnya terjadi proses perubahan energi mekanis menjadi energi listrik.
4. Kondensor (*Condenser*), berfungsi sebagai penampung air *condensate* sekaligus sebagai tempat pendinginan uap bekas hasil ekspansi turbin uap, dimana media air laut digunakan sebagai media pendinginnya.

2.2.4 Sistem Pendinginan Kondensor

Kondensor merupakan komponen pendingin yang sangat penting berfungsi untuk memaksimalkan efisiensi pada mesin pendingin. Pada kondensor ini, terjadi pelepasan kalor secara kondensasi dan kalor sensibel. Pada umumnya menggunakan kondensor tipe permukaan (*surface condenser*), tipe kondensor ini merupakan jenis *shell-tube* yang mana air pendingin disirkulasikan melalui *tube*. Kondensor biasanya menggunakan sirkulasi air pendingin dari menara pendingin (*cooling tower*) untuk melepaskan kalor ke atmosfer, atau *once-through water* dari sungai, danau atau laut. Kebanyakan aliran fluida kerja yang mengalir secara terus menerus di dalam alat penukar kalor (APK), setelah melampaui waktu operasi tertentu akan mengotori permukaan perpindahan panasnya. Deposit yang terbentuk di permukaan kebanyakan akan mempunyai konduktivitas termal yang cukup rendah sehingga akan mengakibatkan menurunnya besaran koefisien global perpindahan panas di dalam alat

penukar kalor, akibatnya laju pertukaran energi panas di dalam APK menjadi lebih rendah.

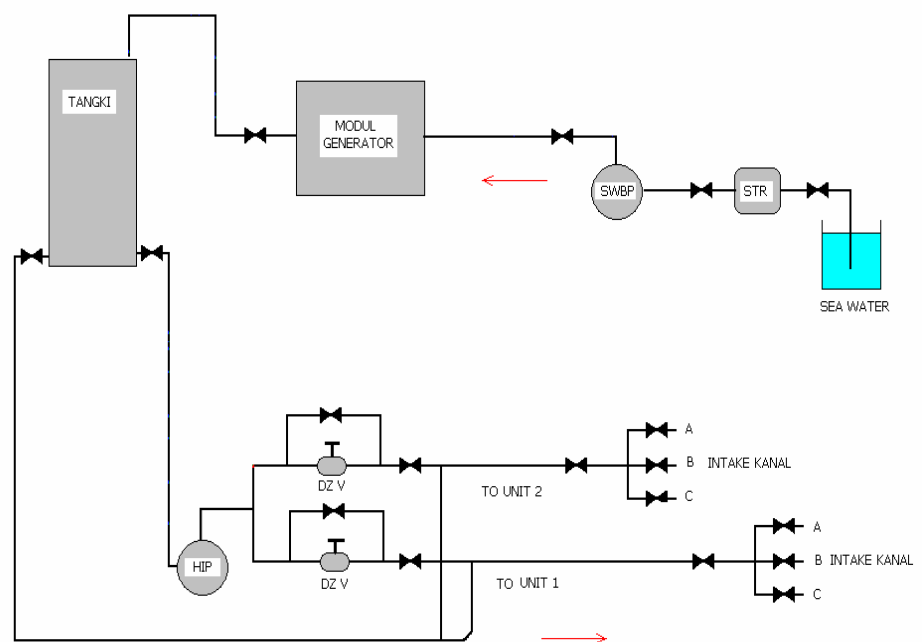
Pada PLTU Paiton, media pendingin yang digunakan sebagai pendingin kondensor merupakan media dari air laut, air laut yang dijadikan sebagai media pendingin tidak langsung dipompa ke sistem pendingin melainkan di injeksikan larutan sodium hypochlorite terlebih dahulu yang diproduksi oleh sub unit Chlorination Plant. Tujuan dari penginjeksian ini adalah untuk memabukkan biota-biota laut agar tidak berkembang biak sehingga jika digunakan sebagai air pendingin pada kondensor tidak menyebabkan *biofouling* yang menyebabkan menurunnya efisiensi dari kinerja kondensor tersebut. Berikut merupakan gambar alur *supply* air laut sebagai media pendingin kondensor.



Gambar 2.3. Diagram Alur Supply Air Pendingin Kondensor

2.2.5 Chlorination Plant

Chlorination Plant merupakan suatu sistem unit pengolahan air laut untuk menghasilkan larutan sodium hypochlorite berdasarkan proses elektrolisa. Pada kondensor terjadi perubahan fasa uap menjadi fasa cair, proses perubahan fasa ini menggunakan media pendingin air laut yang dipompakan oleh *Circulating Water Pump (CWP)*. Namun air laut yang dijadikan sebagai media pendingin banyak mengandung biota laut yang apabila pertumbuhan biota laut tersebut tidak dihambat, maka biota laut tersebut dapat ikut masuk ke dalam sistem pendingin kondensor yang dapat menempel serta berkembang biak pada instalasi yang dilaluinya, sehingga biota laut yang berhasil masuk terhadap sistem pendingin atau instalasi lain yang dilaluinya, dapat menyebabkan kerak *fouling* pada dinding kondensor serta mengurangi efisiensi kinerja dari kondensor dan instalasi yang dilalui air tersebut, akibatnya akan menambah biaya (*cost*) produksi dan perawatan unit. Menanggulangi hal tersebut maka dilakukan injeksi zat kimia yaitu larutan *sodium hypochlorite (NaOCl)*. Cairan kimia *sodium hypochlorite (NaOCl)* berfungsi untuk melumpuhkan dan mencegah perkembangan biota laut yang terkandung dalam air laut, larutan ini diinjeksikan pada pintu pemasukan air laut menuju *Circulating Water Pump (CWP)* untuk mencegah penyumbatan atau permasalahan pada *tube condenser*. Berikut merupakan gambar diagram chlorination plant. Pada gambar 2.4 merupakan gambar diagram chlorination plant yang terdapat di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton.



Gambar 2.4. Diagram *Chlorination Plant* UP Paiton

2.2.6 Komponen Peralatan Chlorination Plant

1. *Lamela Clarifier / Prewater Treatment Plant*

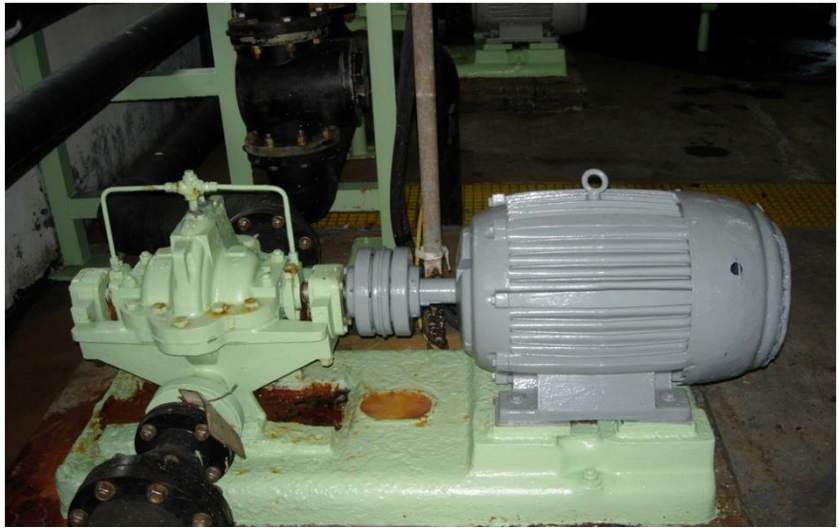
Untuk menyaring dan mengendapkan kotoran-kotoran partikel air laut dari 3665 ppm menjadi atau kurang dari 100 ppm.

2. *Seawater Storage Tank*

Untuk menampung air laut setelah mengalami proses penyaringan dan pengendapan di *lamela clarifier*.

3. *Sea Water Booster Pump (SWBP)*

SWBP (*Sea Water Booster Pump*) adalah alat yang digunakan untuk memberi tekanan aliran terhadap air laut dari *sea water storage tank* ke sistem *chlorination plant* menuju modul generator



Gambar 2.5. Sea Water Booster Pump

4. *Sea Water Strainers*

Sea Water Strainers adalah alat yang digunakan untuk menghilangkan partikel solid dengan ukuran lebih besar dari 0,5 mm.



Gambar 2.6. Sea Water Strainers

5. Modul Generator

Modul generator adalah alat utama untuk memproduksi larutan chlorine atau *sodium hypochlorite* dengan proses elektrolisa air laut.



Gambar 2.7. Modul Generator Hypochlorite

6. *DC Supply System*

DC Supply System merupakan sistem untuk menyuplai arus DC yang digunakan untuk proses elektrolisa dalam pembuatan larutan *sodium hypochlorite*.

7. *Degassing Tank*

Degassing Tank adalah tangki yang berfungsi untuk menampung larutan *sodium hypochlorite* yang dihasilkan oleh Modul Genarator dan juga melepaskan gas hidrogen ke udara bebas.



Gambar 2.8. Degassing Tank

8. *Dosing Pump*

Dosing Pump merupakan suatu alat untuk memompakan larutan chlorine/ *Sodium hypochlorite* ke *Water Intake* melalui *control Valve* dan *By Pas Valve*.



Gambar 2.9. Dosing Pump

2.2.7 Sistem Kerja pada Cell Generator Hypochlorite

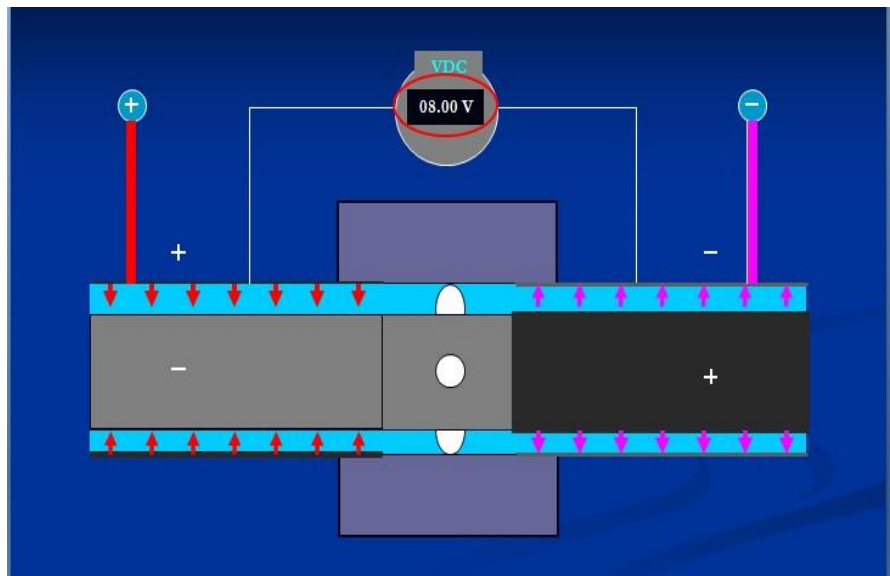
Proses produksi larutan sodium hypochlorite adalah menggunakan proses elektrolisa. Elektrolisa adalah metode yang menggunakan arus listrik searah untuk menggerakkan sebuah reaksi kimia non-spontan. Elektrolisa seringkali digunakan untuk memisahkan unsur kimia dalam suatu senyawa kimia, atau untuk memicu reaksi pembentukan senyawa kimia baru. Untuk kapasitas besar, diperlukan arus listrik yang tinggi agar proses reaksi kimia menjadi efektif dan efisien.

Sodium hypochlorite adalah suatu jenis disinfektan yang umum digunakan. Senyawa ini luas digunakan karena murah, pembuatannya, mudah, dan bahan bakunya tersedia dalam jumlah banyak. Mekanisme kerjanya adalah menghambat oksidasi glukosa dalam sel mikroorganisme dengan cara menghambat enzim-enzim yang terlibat dalam metabolisme karbohidrat. Mikroorganisme yang dapat dilumpuhkan oleh senyawa ini cukup banyak, meliputi bakteri gram positif dan bakteri gram negatif. Kelemahan disinfektan senyawa ini adalah dapat menyebabkan korosi pada pH rendah, meskipun sebenarnya pH rendah diperlukan untuk kinerja senyawa ini secara optimal. Unsur chlorine juga dapat terinaktivasi jika terpapar senyawa organik tertentu.

Senyawa NaOCl (*sodium hypochlorite*) juga mempunyai sifat berupa bau yang tidak sedap/menyengat, sehingga dapat menimbulkan iritasi pada kulit dan tidak stabil. Disinfektan lainnya adalah iodine, alkohol, amonium kuartener, formaldehid, kalium permanganat dan fenol. Tetapi disinfektan selain NaOCl tidak sesuai untuk dapat diterapkan antara lain karena mahal, reaksi lambat, bersifat toksik dan meninggalkan residu.

Electrochlorination adalah suatu metode produksi senyawa chlorine yaitu NaOCl (*sodium hypochlorite*) dengan cara elektrolisa pada air laut. Pada instalasi pembangkit listrik termal maupun nuklir yang memerlukan air laut untuk pendingin *condenser*, zat NaOCl berfungsi untuk melumpuhkan (disinfektan) mikroorganisme laut agar tidak bersarang dan merusak (*biofouling*) pada instalasi-instalasi yang menggunakan air laut. Karena air laut mengandung berbagai mikroorganisme, bakteri, protozoa, yang akan memberikan kontribusi untuk pembentukan *biofouling* pada permukaan benda. Tujuan jangka panjang penggunaan *sodium hypochlorite* adalah menekan biaya perawatan, mempertahankan biaya operasional dan memperpanjang usia peralatan.

Biofouling adalah koloni bakteri yang tumbuh pada permukaan benda di mana sumber karbon dan nutrisi tersedia. *Biofouling* ini berupa pengerakan dan korosi. Organisme-organisme laut ini berupa remis, kijing, tritip, tiram, rumput laut, bakteri ganggang dan lain-lain. Dapat terjadi pada peralatan-peralatan dan instalasi yang dilewati atau menggunakan air laut semisal *Desalination Plant*, *condenser tubes*, dan pompa pendingin (CWP). Efek dari *biofouling* ini adalah tereduksinya *heat transfer* pada kondenser yang menyebabkan biaya operasional dan perawatan menjadi mahal. *Biofouling* terbagi dalam dua macam yaitu makro dan mikro *fouling*. Keduanya sama-sama menimbulkan kerugian. Akan tetapi mikro *fouling* ini yang sulit dicegah. Makro *fouling* dapat menyebabkan tersumbatnya *tube-tube condenser*. Sedangkan mikro *fouling* dapat menyebabkan kerusakan pada *tube-tube condenser*. Pada gambar 2.10 merupakan gambar sistem elektrolisa pada cell generator



Gambar 2.10. Sistem Elektrolisa pada Cell Generator

2.2.8 Fungsi Chlorin untuk PLTU

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), klorin digunakan pada sistem pendingin (*cooling system*) yang berfungsi sebagai pengontrol *biological fouling* untuk PLTU yang akan diteruskan sebagai pendingin, biasanya dilengkapi dengan unit klorinasi (*Chlorination Plant*).

Fungsi penggunaan klorin yaitu untuk mencegah tumbuhnya biota laut yang menjadi penghambat atau merusak pada dinding pipa kondensor akibatnya mengurangi efisiensi kinerja dari kondensor tersebut.